

## **Kurzbericht zum Verbundforschungsprojekt „Voruntersuchungen zu einem Fahrzeugkonzept“**

Gefördert durch das Ministerium für Finanzen und Wirtschaft Baden-  
Württemberg

Das Verbundforschungsprojekt „Voruntersuchungen zu einem Fahrzeugkonzept“ hatte das Ziel, anhand einer Reihe zuvor identifizierter technischer Herausforderungen Lösungsansätze zu entwickeln, mit denen die bis jetzt bestehenden Nachteile batterieelektrischer Fahrzeuge in Bezug auf Reichweite und Produktionskosten reduziert werden können. Auf diese Weise sollen die Voraussetzungen für eine zügige und erfolgreiche Einführung der Elektromobilität verbessert und das Potential der Akteure in Baden-Württemberg gestärkt werden.

Die fünf Teilprojekte deckten eine große technische Bandbreite ab. TP1 und TP2 befassten sich mit effizientem Thermomanagement für Fahrgastraum und Batterie im Elektrofahrzeug, da der Energieeinsatz für Klimatisierungszwecke großen Einfluss auf die Reichweite hat. Zwei weitere Teilprojekte untersuchten die Fahrzeugbatterie unter den Gesichtspunkten Weiterentwicklung der Zellmontage sowie Überführung neuer Technologien in die industrielle Produktion. Das fünfte Teilprojekt hatte eine Analyse des Fahrzeugnutzerverhaltens zum Gegenstand, damit die Erkenntnisse über Anforderungen und Gewohnheiten der Nutzer in die Konzeption künftiger Fahrzeugkonzepte einfließen können.

Die beteiligten Akteure der einzelnen Teilprojekte sind durchweg in der Clusterregion Baden-Württemberg angesiedelt, die eine über lange Zeiträume gewachsene Automobil-

Hersteller- und –Zulieferstruktur aufweist. Sie alle sind seither im Spitzencluster Elektromobilität Südwest und in den Schaufensterprojekten engagiert, so dass die Erträge des Verbundprojektes „Voruntersuchungen zu einem Fahrzeugkonzept“ direkt den gemeinsamen Anstrengungen der Clusterregion zugutekommen.

### TP1: Simulation der thermischen Belastung der Fahrzeugbatterie

Projektpartner: Universität Stuttgart, exa GmbH

Leistungsfähigkeit und Lebensdauer einer Fahrzeugbatterie im E-Fahrzeug hängen in hohem Maße von einer gleichbleibenden Betriebstemperatur ab. Ein geeignetes Thermomanagementsystem ist daher unverzichtbarer Bestandteil eines E-Fahrzeug-Konzepts, um die Betriebskosten einerseits und den Einfluss der Klimatisierung auf die Reichweite möglichst gering halten zu können.

Im TP1 wurde daher zunächst das thermische Verhalten einer Lithium-Ionen-Pouch-Zelle unter kontrollierten Be- und Entladebedingungen untersucht, woraus die Modellierung eines Batteriemoduls abgeleitet wurde. Dieses wurde anschließend ebenfalls unter diesen Bedingungen untersucht, so dass die Simulationsergebnisse am Gesamtsystem validiert werden konnten. Die Bilanzierung des Abwärmestroms der Zelle erfolgte über ein elektrisches Ersatzschaltbild, mit dem die Zellspannung berechnet werden kann, wobei die jeweilige Ladekapazität und die Betriebsgrenzen vor der Parametrierung über kontrollierte Ladung bzw. Entladung bis an die Schlussspannung unter konstanten Bedingungen in einer Klimakammer ermittelt wurden. Dies erfolgte bei drei verschiedenen Umgebungstemperaturen (10°C, 23°C und 40°C). Ein aus drei Zellen gleicher Kapazität gebildetes Zellmodul diente anschließend der Untersuchung des thermischen Verhaltens im Verbund, wobei dieses elektrisch belastet wurde, während es durch den definierten Luftstrom eines Gebläses gekühlt wurde. Die Durchführung der Versuche erfolgte in einer eigens angefertigten Box als thermisch isolierte Umgebung, in der 15 Oberflächentempersensoren auf den Zellmodulen aufgebracht wurden.

Die Ergebnisse zeigen, dass mit dem angewandten Innenwiderstandsmodell eine erfolgreiche Simulation des Erwärmungsprozesses während der konstanten Entladung der Zelle möglich ist. Durch die Berücksichtigung des Kontaktwiderstands bei den Zellmodulen konnte eine sehr gute Übereinstimmung der Oberflächentemperaturverläufe festgestellt werden. In einem nächsten Schritt sollen weitere praxisorientierte Untersuchungen zum Tempera-

turverhalten der Zellen in realer Fahrzeugumgebung zu simulieren. Hierfür bieten sich für einen dynamischen Lade- und Entladeprozess ein Fahrzyklus wie der NEFZ oder andere, auf E-Fahrzeuge angepasste Zyklen an.

#### TP2: Simulation der Erwärmung des Fahrzeuginnenraums

Partner: Universität Stuttgart, exa GmbH

Die in einem batterieelektrischen Fahrzeug verfügbare Energie zum Heizen und Kühlen des Fahrgastraums ist durch die Speicherkapazität der Fahrzeugbatterie heute und in absehbarer Zukunft eng begrenzt. Die Temperatur im Fahrgastraum hat allerdings großen Einfluss auf das Wohlbefinden und damit die Leistungsfähigkeit der Insassen. Es ist daher notwendig, über ein intelligentes Thermomanagement unter Nutzung der im Fahrzeug vorhandenen Wärmeströme Konzepte zu entwickeln, die bei komfortabler Klimatisierung einen möglichst sparsamen Umgang mit der im Fahrzeug verfügbaren Energie erlauben. Daneben sind außerdem Konzepte zur Änderung des Fahrzeugpackages wie etwa zur thermischen Isolation bzgl. Wärmeleitung und Wärmeisolation zu betrachten.

Durch den Aufbau und die Simulation des Aufwärmverhaltens eines digitalen Fahrzeuginnenraum-Modells und den Vergleich mit Messergebnissen wurde ein validiertes Fahrzeuginnenraum-Modell geschaffen, mit dem als Demonstrator der Einfluss verringerter Wärmemengen und veränderter Isolation untersucht werden kann. Basis der Untersuchungen zur Aufheizung war die Fahrerkabine eines Kleinstwagens, die mit 12 Thermoelementen in Kopf- und Fußraum sowie weiteren an den Luftausströmern versehen wurde, wobei ein dem realen Fahrzeug entsprechendes Schichtmodell zugrunde gelegt wurde, das die verschiedenen Wärmeleitungs- und Wärmestrahlungseigenschaften der tatsächlich verbauten Materialien berücksichtigt. Vor den Messungen wurde das Kühlmittel mittels einer Konditioniereinrichtung reproduzierbar erwärmt.

Die im Rahmen der Untersuchungen gewonnenen Ergebnisse zeigen das große Potential des Einsatzes von wärmedämmenden Materialien bei gleichzeitiger Reduktion thermischer Massen im Fahrzeug, wodurch allein schon eine Leistungseinsparnis von ca. 0,5 kW erreicht werden kann. Die Kennwerte der Vakuum-Isolationsmaterialien bestätigen dieses Potential, gehen aber mit einer etwas größeren Materialdichte einher, was die Energieersparnis durch die Gewichtszunahme teilweise relativieren würde. Ferner bleibt künftig zu untersuchen, in welchem Umfang die mechanischen und schallabsorbierenden Eigenschaften der Materialien den Anforderungen im Automobilbau gerecht werden.

#### TP3: Fortschrittlicher Fertigungsprozess für Hoch-Volt-Lithium-Ionen-Batterien

Partner: Zentrum für Sonnenenergie- und Wasserstoffforschung (ZSW), Manz Tübingen GmbH (löste bei unveränderten Umfängen Fa. Ads-tec ab)

Zu den Problemen, die gegenwärtig einer größeren Verbreitung batterieelektrische Fahrzeuge noch im Wege stehen, gehören die hohen Fertigungskosten der Stromspeicher. Aufgabenstellung dieses Teilprojekts war daher die die hocheffiziente und günstige Fertigung von Hochenergie-Batteriezellen, insbesondere von Hochleistungs-Flachzellen, wie sie künftig für leistungsstarke Energiespeicher in Fahrzeugen in großen Mengen benötigt werden. Ziel war es, die gesamte Wertschöpfungskette einer automatisierten Zellherstellung anhand einer Referenzzelle umzusetzen, so dass Zelldesign, Qualität und die erforderlichen Ausbringungszahlen auf der Grundlage der zuvor identifizierten, kosten- und qualitätsrelevanten Prozessschritte belegt werden können. Zur Anwendung kam ein Ansatz der Fa. Manz für vollautomatische Zellmontageschritte, bei dem insbesondere der Vorgang des Vereinzelns über Laserverfahren durch die Bildung von Laborzellen validiert und abgesichert wurde. Gegenübergestellt wurden die beiden Prozesse Laserschneiden und Stanzschneiden, wobei bei der Auswertung mittels eines digitalen Mikroskops erwartungsgemäß keine eindeutige Überlegenheit des Laserschneidverfahrens festgestellt wurde. Vorteile bestehen allerdings vor allem im Bereich der Schnittkanten, da sich dort bei Laserschneiden keine verschleißbedingten Grate bilden können, die sich negativ auf die Lebensdauer der Zellen auswirken. Für die Betriebssicherheit der Zellen ist es jedoch von besonderer Wichtigkeit, eine stabile Präzision der Kanten zu erzielen. Insofern ist das Laserverfahren in betriebswirtschaftlicher Hinsicht (hoher Aufwand für Stanzwerkzeuge), in Bezug auf die gleichbleibende Qualität der Schnittkanten sowie durch seine Flexibilität bei Veränderungen etc. vorzuziehen. Es hat aber gegenwärtig noch den Nachteil, dass sich durch das thermische Schneidverfahren Schwebstoffe an der Elektrode ablegen können.

Als Ergebnis des Teilprojekts kann daher die wirtschaftliche Überlegenheit des Laserverfahrens festgestellt werden, so dass ein Einsatz bei der Herstellung von Lithium-Ionen-Batterien auch in industriellem Maßstab sinnvoll ist, sobald die Qualität an die eines verschleißfreien Stanzwerkzeugs angepasst werden kann.

#### TP4: Aufnahme und Analyse der Produktionsaspekte bei der Batteriesystemmontage in Form eines Lastenheftes

Partner: Inst. für Produktionstechnik (KIT-wbk), Karlsruhe, Daimler AG Stuttgart-Untertürkheim

Die hohen Produktionskosten für Batteriesysteme gehören bis jetzt zu den Hauptfaktoren, die einer stärkeren Verbreitung der Elektromobilität im Wege stehen. Die Großserienproduktion für automobiler Anwendungen weicht dabei erheblich von vorhandenen Technologien z. B. für Mobiltelefone oder Notebooks ab, so dass hier neue Verfahren zu entwickeln sind, welche die veränderten Qualitäts- und Sicherheitsanforderungen berücksichtigen müssen. Auf diese Weise wurde im Projekt ein Lastenheft für automatisierte Fertigungsverfahren entwickelt, auf dessen Grundlage zusammen mit den technischen Anforderungen die Auslegung von Maschinen und Anlagen abgeleitet werden kann. Dabei muss auf dem Gebiet der Produktionstechnik eine effiziente Anpassungsfähigkeit an steigende, ggf. auch stark schwankende Stückzahlen sowie an technologische Weiterentwicklungen angestrebt werden. Auf der Grundlage der identifizierten und bewerteten Prozessschritte wurden im Projekt erste Konzepte für den geeigneten Automatisierungsgrad und die Fertigungstiefe entwickelt, was unmittelbare Auswirkungen auf die Investitionen hat. Untersucht wurden dazu auf dem Gebiet der Fertigungstechnologie die einzelnen, heute etablierten Prozessschritte untersucht, die von der Vormontage der Zellmodule über das Fügen der Zellelektroden, Montage von Kühlelementen und Gehäuse bis hin zur mechanischen und elektrischen Funktionsprüfung reichten. Herausforderungen auf diesen Gebieten sind vor allem anpassungsfähige Greiftechniken und die Laserschweißtechnologie, die zwar deutliche Verbesserungen im Bereich der Produktivität versprechen, andererseits aber Probleme bei der Sicherheit der Produktion mit sich bringen, da z. B. die Schweißpartner sehr unterschiedliche thermische Eigenschaften aufweisen. Auch sollte der Zeitpunkt der Fehlerfeststellung möglichst weit nach vorne verlegt werden.

Wie auch bei den übrigen Teilprojekten flossen die Erträge von TP5 unmittelbar in die gemeinsamen Spitzencluster-Aktivitäten ein, darunter sowohl Skizze und Strategiepapier als auch die Projekte im Innovationsfeld „Produktion“. Durch die Vorarbeiten des Projekts ist es gelungen, weitere leistungsfähiger Partner aus der Clusterregion für künftige Aktivitäten einzubeziehen. (Bsp. Fa. Dürr)

#### TP5: Analyse des Fahrzeugnutzerverhaltens mit Hilfe eines Telemetrie-Tools

Partner: Institut für Fahrzeugsystemtechnik (KIT-FAST), Karlsruhe, Porsche AG Stuttgart, CarMedialab, Bruchsal

Für den Markterfolg von E-Fahrzeugen ist eine möglichst gute Anpassung an die Kundenbedürfnisse eine der Voraussetzungen. Da die im E-Fahrzeug mitgeführte Energiemenge eng begrenzt ist und Komfortfunktionen wie Klimatisierung, Entertainment deutliche Auswir-

kungen auf die Reichweite besitzen, ist eine Analyse der Energiepfade im Fahrzeug notwendig, die in ihrer Detaillierung deutlich über bisher vorgenommene Untersuchungen hinausgeht. Diese Erkenntnisse können nur über die kontinuierliche Aufzeichnung von Messwerten im realen Fahrbetrieb generiert werden, was im TP5 über das Bereitstellen einer Fahrzeugflotte in den USA, deren Ausrüstung mit Messtechnik sowie Aufbau und Wartung einer Serverstruktur zum Empfang, Speichern und Auswerten der Daten erfolgte. Als Projektfahrzeug wurde der Porsche Cayenne Hybrid gewählt, der durch seine Fähigkeit, elektrische Fahrzustände abzubilden, besonders geeignet ist. Zu den erfassten Parametern gehören solche zum Mobilitätsverhalten, zu Energieflüssen, zu Komfortfunktionen und Bauteildaten, so dass eine große Spannbreite der im Kundenbetrieb auftretenden Zustände abgedeckt wurde. Der Untersuchung voraus ging ein sehr aufwendiger Prozess zur Ermittlung einer optimalen Einbaulage, da die Datenlogger weder für den Kunden sichtbar, noch Einfluss auf Geräuschverhalten oder Sicherheit des Fahrzeugs haben sollten.

Durch verschiedene Verzögerungen bei der Umsetzung, vor allem durch die Schwierigkeit, Testkandidaten zu identifizieren, konnten nicht wie geplant die insgesamt 15 Fahrzeuge mit den Datenloggern ausgerüstet werden, es blieb vorerst bei einem Kundenfahrzeug, so dass zunächst nur Testdaten vorliegen. Alle 15 Datenlogger befinden sich einbaubereit in den USA und die drei Projektpartner sind mit Blick auf den großen Aufwand entschlossen, das Projekt auch nach Ende der Förderung weiterzuverfolgen und eine fundierte Datenanalyse durchzuführen. Der Großteil der Fahrzeugflotte wurde seither instrumentiert. Ein weiterer Ertrag des Projekts ist die erfolgreiche Einbindung eines KMU, das seither weit über den Projektinhalt hinausgehend mit der Porsche AG zusammenarbeitet. Die Datenlogger werden anschließend ans KIT zurückgeführt, wo sie vergleichbaren Untersuchungen, u. a. im Rahmen der Spitzencluster-Projekte, zur Verfügung stehen.

### Bilanz und Ausblick

Die vom Wirtschaftsministerium Baden-Württemberg geförderten Verbundforschungsprojekte im Vorfeld der Spitzenclusterausschreibung haben gezeigt, dass die Partner innerhalb der Clusterregion beste Voraussetzungen zu erfolgreicher Zusammenarbeit vorfinden. Die seit über 100 Jahren um die Fahrzeughersteller des Südwestens herum gewachsene Struktur aus großen, mittelständischen und kleinen Unternehmen, diese teilweise hochspezialisiert, erlaubt es, auch bei neuen Antriebskonzepten auf die vorhandenen breiten Kompetenzen zurückzugreifen. Alle Partner der Teilprojekte sind auch im Spitzencluster E-Mobilität Südwest weiterhin engagiert und werden mit den dort auf wesentlich breiterer

Grundlage geförderten Projekten wichtige Beiträge zu den identifizierten Problemfeldern liefern. Der Verlauf der einzelnen Teilprojekte hat gezeigt, dass die konstruktive Zusammenarbeit zwischen Unternehmen der Fahrzeug- und Zulieferbranche, Forschungseinrichtungen und KMUs gut funktioniert, wie das Erreichen der wesentlichen Projektziele ohne Überschreitung der gewährten Fördermittel belegt. Die Intensivierung der in den Verbundforschungsprojekten praktizierten Zusammenarbeit in den laufenden Spitzencluster- und Schaufensterprojekten sind daher als weitere Schritte auf dem Weg zu sehen, Deutschland gleichermaßen zum Leitmarkt und Leitanbieter auf dem Gebiet der E-Mobilität zu machen.

Karlsruhe im August 2012

Prof. Dr. Frank Gauterin

Dr. Thomas Meyer

**Ansprechpartner:**

Dr. Thomas Meyer  
Karlsruher Institut für Technologie (KIT)  
Institut für Fahrzeugsystemtechnik (FAST)  
Rintheimer Querallee 2  
76131 Karlsruhe  
0721/608-46430  
Thomas.Meyer@kit.edu